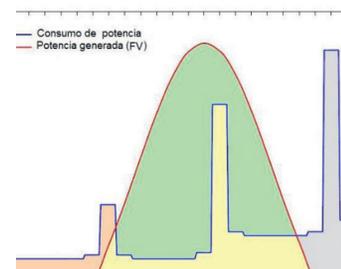


Viabilidad económica de instalaciones fotovoltaicas de pequeña potencia para viviendas mediante la modalidad de balance neto



ECONOMIC VIABILITY OF SMALL POWER PHOTOVOLTAIC FACILITIES FOR DWELLINGS BY USING THE NET-METERING MODE

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5754> | Recibido: 13/02/2013 • Aceptado: 11/10/2013

Pablo García-Triviño, Francisco Llorens-Iborra
Eloy García-Pichardo, Carlos Andrés García-Vázquez
Luis Miguel Fernández-Ramírez

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ. Escuela Politécnica Superior de Algeciras.
Dpto. de Ingeniería Eléctrica. Avda. Ramón Puyol, s/n - 11202
Algeciras (Cádiz). Tfno: +34 956 028025. pablo.garcia@uca.es

ABSTRACT

• The entry into force of Royal Decree-Law 1/2012 has led to the elimination of the support schemes to promote the use of the energy from renewable energy sources existing to date in Spain, and thus, certain standstill of this sector activity. In this context, some renewable technologies, mainly photovoltaic solar, can find in self-consumption an alternative for promoting their development and use. The self-consumption in the form of net-metering is mainly characterized by the possibility that the consumer can generate *in situ* part of the consumed electricity and use the network as storage or supply system. This option is still under study by the Government, so that there are two drafts of Royal Decree, none of which has been approved to date. The aim of this paper is to analyze the economic viability of the net-metering mode in dwellings with small power photovoltaic facilities, considering those options that can contribute to make them viable.

• **Keywords:** photovoltaic solar, self-consumption, renewable energies.

RESUMEN

La entrada en vigor del Real Decreto-Ley 1/2012 ha supuesto la eliminación de los regímenes de ayudas para el fomento de las energías renovables existentes hasta la fecha en España, y en consecuencia, cierta paralización de la actividad de este sector.

En este contexto, algunas tecnologías renovables, principalmente la solar fotovoltaica, pueden encontrar en el autoconsumo una alternativa para fomentar su desarrollo y uso. El autoconsumo en la modalidad de balance neto se caracteriza, principalmente, por la posibilidad de que el consumidor pueda generar *in situ* parte de la energía eléctrica que consume y utilizar la red como forma de almacenamiento o suministro complementario. Esta opción está aún bajo estudio por parte del Gobierno, existiendo dos borradores de Real Decreto, ninguno de los cuales ha sido aprobado hasta la fecha. El objetivo del presente trabajo es analizar la viabilidad económica del modelo de balance neto de energía en viviendas con instalaciones fotovoltaicas de pequeña potencia, planteándose aquellas opciones que puedan contribuir a hacerlas viables.

Palabras clave: solar fotovoltaica, autoconsumo, energías renovables.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, problemas como la escasez de las reservas de petróleo, la alta dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de CO₂ que el uso de éstos provoca, hacen que sea necesaria la búsqueda de alternativas energéticas en el actual sector eléctrico. Por otra parte, la subida de los precios de la energía eléctrica y la disminución de los costes de la tecnología fotovoltaica, hacen que la energía solar fotovoltaica pueda encontrar en el modelo de balance neto una alternativa que permita fomentar su desarrollo y uso. Básicamente, este modelo se caracteriza por la posibilidad del consumidor de generar *in situ* parte de la energía eléctrica que consume. La energía excedentaria producida será vertida a la red y posteriormente podrá ser recuperada, utilizando la propia red como un sistema de acumulación.

Grandes potencias internacionales como Alemania, Reino Unido, Italia y Estados Unidos apuestan ya por el sistema del autoconsumo (Botero B et al., 2008).

En España, hasta diciembre de 2011, se fomentaba la energía solar fotovoltaica mediante incentivos/primas sobre el precio de generación de la energía eléctrica. La entrada en vigor del Real Decreto-Ley 1/2012 de 27 de enero, por el que se suprimen los incentivos económicos, ha provocado que en estos momentos el

sector fotovoltaico esté paralizado (Jefatura del Estado, 2012). Actualmente existen dos borradores de Real Decreto (RD) que tratan la regulación de la modalidad de suministro de energía eléctrica con balance neto. El primero de ellos, de fecha 18 de noviembre de 2011 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011), permitiría un relanzamiento del sector de la energía solar fotovoltaica.

El segundo borrador, hecho público el 18 julio de 2013 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2013), difiere significativamente del inicialmente presentado y supondría un grave perjuicio para la conexión a la red pública de instalaciones solares fotovoltaicas, al hacerlas prácticamente inviables económicamente.

En este artículo, se analiza la viabilidad económica del modelo de balance neto de energía en viviendas con instalaciones fotovoltaicas de pequeña potencia basadas en el borrador de RD de 18 de noviembre de 2011, planteándose aquellas opciones que puedan contribuir a hacer viables este tipo de instalaciones.

2. EL AUTOCONSUMO EN ESPAÑA

En España, las primeras referencias al autoconsumo aparecen en el RD 1699/2011, de 18 de noviembre, (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011b). En el capítulo IV se establece que: “El Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, en el plazo de cuatro meses desde la entrada en vigor del Real decreto 1699/2011, elevará al Gobierno una propuesta”.

El mismo 18 de noviembre de 2011 se aprobó el “proyecto de Real Decreto por el que se establece la regulación de las condiciones administrativas, técnicas y económicas de la modalidad de suministro de energía eléctrica con balance neto” (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011). Se define la modalidad de suministro de balance neto como aquel sistema que permite a los consumidores la producción individual de energía para su propio consumo y puede utilizar la red como sistema de almacenamiento. Este sistema es interesante para las instalaciones de generación eléctrica con fuentes renovables no gestionables, como la energía eólica o energía solar, cuyo coste de producción es superior al precio de venta de la energía en el mercado eléctrico.

El sistema de balance neto consiste en producir la energía eléctrica en el mismo lugar de su consumo, en la propia vivienda. Si la demanda de energía es inferior a la producción de energía eléctrica, se exportará energía a la red (energía excedentaria), mientras que si la demanda de energía es superior, se importará energía de la red. La energía excedentaria vertida a la red no llevará aparejada ninguna contraprestación económica, pero sí generará unos derechos de consumo diferidos. A estos derechos de consumo diferidos se le denominará peaje y corre a cuenta del consumidor. En el capítulo IV, artículo 9 del proyecto de RD se establece que la energía excedentaria vertida a la red podrá ser utilizada durante un plazo máximo de 12 meses después de la generación del derecho. Por el aprovechamiento de los derechos de consumo diferido el consumidor pagará el coste del servicio de gestión de excedentes y los peajes que sean de aplicación, los cuales aún no han sido definidos.

El ámbito de aplicación de este proyecto de RD es para consumidores de energía eléctrica de potencia contratada no superior a 100 kW por punto de suministro, que instalen en su red interior

una instalación de generación de energía eléctrica destinada a su propio consumo. El consumidor dispondrá de los equipos de medida necesarios para la facturación. Para poder ser admitido en la modalidad de balance neto, el titular de un nuevo punto de suministro deberá realizar un contrato de suministro con la empresa comercializadora.

Existe una serie de parámetros y terminología en este proyecto de RD que aún no están detallados con claridad. A continuación nos disponemos a realizar una interpretación concreta de dichos términos:

- *Período de facturación*: tiempo equivalente a un año compuesto por 12 meses, con inicio en la fecha de firma del contrato entre el consumidor y la comercializadora.
- *Período de validez para la recuperación de la energía vertida*: se dispone de 12 meses para poder recuperar la energía vertida a la red desde la fecha de generación, siempre que nos encontremos dentro del mismo periodo de facturación.
- *Derechos de consumo diferido*: también denominado peaje de acceso, es la contraprestación económica por cada kWh consumido de la red y que anteriormente se ha vertido a la propia red de forma gratuita.
- *Energía generada y vertida a la red, o energía acumulada*: se trata del excedente de energía que se ha vertido a la red en los momentos en los que el consumo es inferior a la producción de energía.
- *Consumo de la red*: cuando no se disponga de energía acumulada, el precio de la energía consumida será el precio de la Tarifa de Último Recurso (TUR) sin discriminación horaria correspondiente (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2012).

En el marco del balance neto, se tiene de forma simultánea demanda y generación de energía en la propia instalación propiedad del consumidor. En estas circunstancias se distinguen cuatro situaciones posibles de gestión de la energía.

En la Figura 1 se representan el consumo típico de potencia de una vivienda unifamiliar y la curva de la potencia eléctrica generada por los paneles solares FV instalados en la vivienda para un día concreto, de forma que la energía generada en el día es igual a la energía consumida. Se pueden

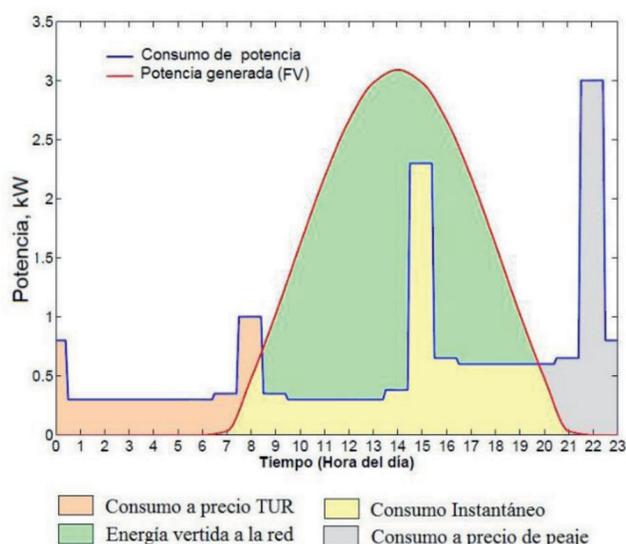


Fig. 1: Curva de consumo y generación fotovoltaica

distinguir cuatro formas de funcionamiento en dicha figura. La primera, denominada “consumo a precio TUR” (color naranja), hace referencia a periodos en los que la energía se consume directamente de la red al precio que tenga establecido la compañía suministradora, cuando aún no existe energía previamente almacenada por el propio usuario. El “consumo instantáneo” (color amarillo) se produce cuando la producción eléctrica en ese instante es superior o igual a la demanda que requiere la instalación, y no supone ningún coste adicional al propietario. El área comprendida entre la curva “Potencia generada (FV)” y la curva “Consumo de potencia” es la “energía excedentaria vertida a la red” (color verde), que ni la Administración ni la compañía eléctrica recompensan. Por último, se denomina “consumo a precio de peaje” a los periodos en los que la energía se consume de la red cuando la producción de energía es inferior a la demanda, siempre y cuando se haya vertido dicha energía a la red anteriormente, lo cual supone un coste por el almacenamiento y gestión de excedentes. En este ejemplo, dado que la producción es igual a la generación, al final del día se tiene almacenada en la red una cantidad igual a la energía consumida a precio TUR en la primera zona, que podrá ser recuperada posteriormente si nos encontramos dentro del mismo período de facturación.

El segundo borrador “Proyecto de Real Decreto por el que se establece la regulación de las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo”, hecho público el 18 julio de 2013 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2013), difiere significativamente del comentado con anterioridad, y supondría una grave perjuicio para la conexión a la red pública de instalaciones solares fotovoltaicas, al hacerlas prácticamente inviables económicamente. Entre las novedades que aporta podemos destacar:

- No existe un mecanismo de compensación diferida en el tiempo, por lo que toda la energía excedentaria producida por los paneles fotovoltaicos y vertida a la red no puede ser recuperada por el propietario de la instalación.
- Introduce el llamado “peaje de respaldo”, para la sostenibilidad del sistema en el corto plazo. Este peaje será de aplicación a toda la energía consumida procedente de la propia instalación fotovoltaica. La energía producida no solo no se prima, sino que se penaliza.
- Se proponen peajes de respaldo muy elevados que hacen económicamente inviables las modalidades de suministro y producción con autoconsumo.

En septiembre de 2013, la Comisión Nacional de la Energía emitió un informe sobre la última propuesta de RD (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2013) en la que pueden destacarse las siguientes afirmaciones:

- El establecimiento de un “peaje de respaldo” únicamente a los consumidores acogidos a las modalidades de autoconsumo, supone un trato discriminatorio con respecto al resto de consumidores.
- No se deducen del “peaje de respaldo” los beneficios sociales que están asociados a la producción distribuida y al autoconsumo, como son el ahorro por las pérdidas de energía en la red, la reducción de las inversiones netas en el sistema, la menor dependencia energética, y el menor

impacto medioambiental de las actividades eléctricas. En la normativa europea se promociona a la generación distribuida y el autoconsumo cuanto menos por todas estas razones.

- A juicio de esta Comisión, la propuesta sacrifica la eficiencia económica a medio y largo plazo en aras de la sostenibilidad económica a corto plazo, entendida como recuperación de costes en gran parte hundidos que preceden en el tiempo al autoconsumo y no son achacables a él.
- La Comisión, así como una gran mayoría de los miembros del Consejo Consultivo, considera que se debería eliminar el “peaje de respaldo” contenido en la propuesta.

3. ÁMBITO DE APLICACIÓN DEL ESTUDIO

El presente estudio de viabilidad se realiza para una vivienda unifamiliar con grado de electrificación básico (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2002). El suministro eléctrico

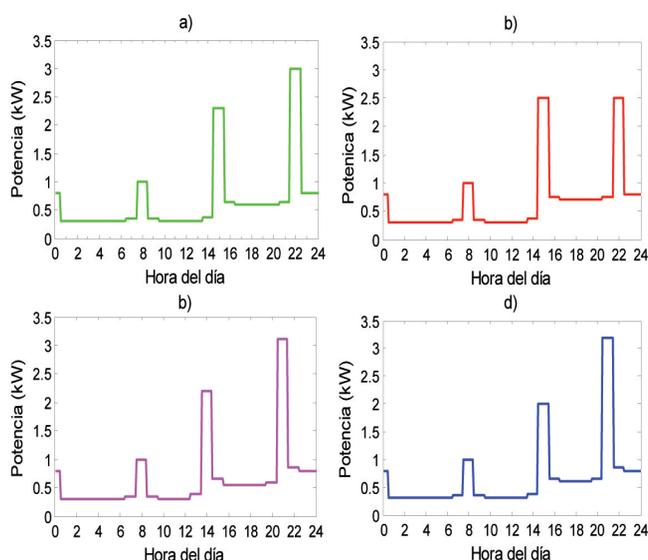


Fig. 2: Curvas de consumo en un día típico de cada estación: a) Primavera, b) Verano, c) Otoño, d) Invierno

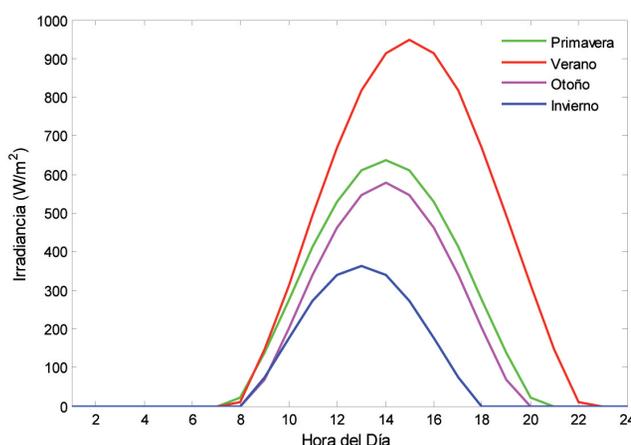


Fig. 3: Irradiancia solar para las diferentes estaciones del año

de la vivienda es monofásico a 230 V, con una potencia contratada de 4,6 kW.

A efectos del cálculo de la generación solar fotovoltaica, la vivienda está situada en Vejer de la Frontera, término municipal de la provincia de Cádiz.

3.1. CURVAS DE DEMANDA DE POTENCIA

La cantidad de energía eléctrica consumida en la vivienda varía a lo largo del día, y de forma distinta en las diferentes estaciones del año. En invierno, la demanda máxima típica de energía eléctrica se produce entre las 21:00 y las 22:00 horas. En verano, además de la punta de consumo de la tarde/noche, se produce otro máximo de demanda de energía en las horas centrales del día, entre las 14:00 y las 16:00 horas (Red Eléctrica de España, 2012).

Para determinar el consumo eléctrico de la vivienda objeto de estudio se ha hecho una estimación, asemejando la gráfica del consumo de la vivienda al consumo típico del sector residencial en España en cada una de las estaciones del año, cuyo resultado se muestra en la Figura 2. Las curvas propuestas presentan un consumo de 16 kWh al día y 490 kWh mensuales.

3.2. RADIACIÓN SOLAR

En la Figura 3 se representa la radiación solar incidente sobre la vivienda para un día típico de cada estación del año (Agencia Andaluza de la Energía, 2013), expresada mediante la irradiancia (W/m^2). Se observa cómo durante el verano se alcanzan los mayores niveles de irradiancia, debido a que el sol incide más perpendicularmente sobre la superficie terrestre de nuestra zona geográfica. Hay que destacar que también durante los meses de verano es cuando se cuenta con un mayor número de horas de sol. En invierno, se recibe menor irradiancia y el número de horas de sol es menor. Durante las estaciones de primavera y otoño, la irradiancia es muy parecida, siendo algo mayor en primavera. La irradiancia útil comienza aproximadamente a partir de las 8:00 horas en todas las estaciones del año, y finaliza entre las 18:00 horas del invierno y las 22:00 horas del verano.

4. DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ÓPTIMA DE PANELES SOLARES FV

4.1. CÁLCULO DE LA SUPERFICIE PARA EL AUTOCONSUMO

La superficie de paneles solares FV a colocar debe ser la adecuada para satisfacer las necesidades anuales de la vivienda. Hay que evitar disponer de energía acumulada al final del periodo de facturación, ya que la energía excedentaria vertida a la red no lleva aparejada ninguna contraprestación económica, y no puede recuperarse una vez finalizado el periodo de facturación. Estableciéndose la condición de que la energía consumida en un periodo de facturación (E_c) debe ser igual a la energía generada en el mismo periodo de facturación (E_{gen}), se obtiene la superficie para conseguir el autoconsumo mediante el uso de FV (S_{auto}). La Ecuación 1 muestra el cálculo de esta superficie.

$$S_{auto} = \frac{\sum_{i=1}^{365} e_{ci}}{\eta \cdot F_p \cdot \sum_{i=1}^{365} I_i} \quad (1)$$

donde e_{ci} es el consumo de energía en el día i , η es el rendimiento de los **módulos solares**, F_p es el factor de pérdidas, I_i es la irradiancia en el día i .

4.2. DÍA ÓPTIMO DEL COMIENZO DEL PERÍODO DE FACTURACIÓN

En la Figura 4a se muestra la evolución de la energía acumulada diaria durante el periodo de facturación de un año (con comienzo el 1 de enero), considerando la superficie S_{auto} . Se distinguen dos intervalos claramente diferenciados. Un intervalo inicial en el que no se dispone de energía acumulada, consumiéndose energía de la red a precio TUR cuando la demanda supera a la producción. Este intervalo comprende desde el primer día del periodo de facturación (1 de enero) hasta el día 78, correspondiente al 19 de marzo. El segundo intervalo comprende desde el día 79 hasta el último día del periodo, donde se dispone de energía acumulada en todo momento, y en consecuencia, el consumo de energía de la red siempre se realiza a precio de peaje. Destacar que al final de año se dispone de energía acumulada, la cual no se va a poder utilizar posteriormente ya que nuestro periodo de facturación ha finalizado. Esta energía sobrante que no se puede utilizar, se denomina energía perdida y coincide con la energía que se ha consumido de la red a precio TUR durante el primer intervalo, pues la superficie instalada (S_{auto}) produce la misma cantidad de energía anual que la demandada.

La Figura 4b, que complementa a la Figura 4a, muestra la energía acumulada al final del periodo de facturación en función del día de alta de la instalación para el autoconsumo. Se distinguen dos puntos de interés, el mínimo indica que no hay energía acumulada al final del periodo de facturación, alcanzándose cuando la instalación se da de alta el 19 de marzo. A partir de este día la producción de energía comienza a ser superior al consumo, garantizándose un consumo de energía a precio de peaje durante todo el periodo de facturación. La mayor energía acumulada al final del periodo y por tanto perdida, se produce en el máximo de la Figura 4b, que se corresponde con el alta de la instalación a mediados del mes de septiembre.

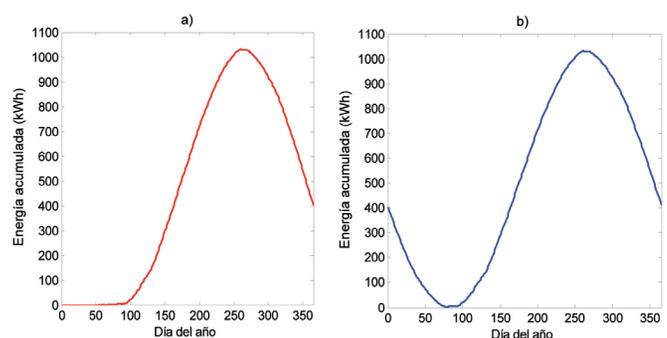


Fig. 4: a) Energía acumulada diaria a lo largo del año. b) Energía acumulada al final del periodo de facturación en función del día de alta en autoconsumo

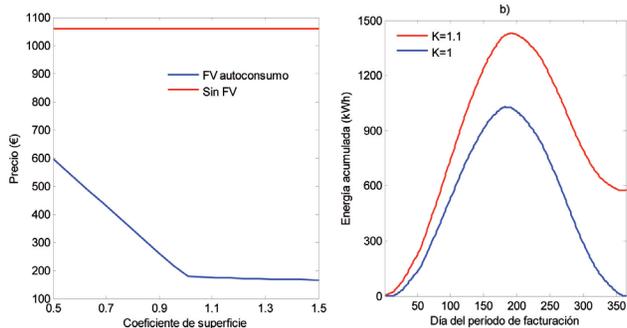


Fig. 5: a) Factura anual con y sin FV, b) Energía acumulada en la red

4.3. REPERCUSIONES DE LA VARIACIÓN DE LA SUPERFICIE INSTALADA

Con objeto de observar el comportamiento de la instalación cuando varía la superficie instalada, se define el coeficiente de superficie K como la relación entre la superficie real de paneles instalados (S_{real}) y la superficie determinada por el autoconsumo (S_{auto}).

$$K = \frac{S_{real}}{S_{auto}} \quad (2)$$

En la Figura 5a se ha representado la factura anual de energía consumida sin instalación FV ($F_{sin,FV}$) y la factura anual con instalación FV para autoconsumo (F_{FV}), ecuaciones (3) y (4) respectivamente. Los precios de peaje y TUR empleados son los que aparecen en la Tabla I, que posteriormente se justificarán.

$$F_{sin,FV} = E_c \cdot P_{TUR} \quad (3)$$

$$F_{FV} = E_{c,inst} \cdot 0 + E_{c,peaje} \cdot P_{peaje} + E_{c,TUR} \cdot P_{TUR} \quad (4)$$

donde E_c es el consumo total de energía de la vivienda, $E_{c,inst}$ es el consumo de energía instantánea y sin coste, $E_{c,peaje}$ es la energía consumida de la red a precio de peaje (P_{peaje}), y $E_{c,TUR}$ es el consumo de energía a precio TUR (P_{TUR}).

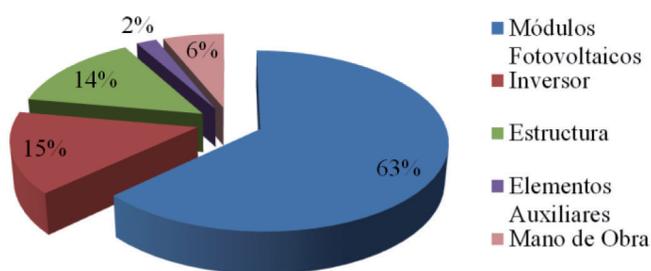


Fig. 6: Desglose de costes de la instalación FV

En la Figura 5a se pueden diferenciar dos zonas. Para $K < 1$, a medida que aumenta el valor del coeficiente de superficie se observa como la factura con FV va disminuyendo. Esto es debido a que cuanto mayor superficie de paneles dispongamos, mayor cantidad de energía es capaz de producir la instalación FV, y por tanto, menor cantidad de energía se consumirá a precio TUR . Para $K=1$, los paneles instalados consiguen generar la misma energía que la consumida por la instalación, y el coste de la factura es muy cercano al mínimo.

Para $K > 1$, a medida que se aumenta el coeficiente de superficie, la factura con FV se mantiene prácticamente constante debido a que las necesidades de autoabastecimiento han quedado ya cubiertas para $K=1$, y el exceso de producción de energía correspondiente a este aumento de superficie se vierte de forma gratuita a la red. El pequeño descenso que se produce en esta zona corresponde a un mayor consumo de energía instantánea a coste cero en detrimento de la energía consumida a precio de peaje. En la Figura 5b puede observarse cómo al final del periodo la energía acumulada para $K=1$ es cero, mientras que para $K=1,1$ se produce un exceso de producción de 580 kWh, que no son recompensados por la Administración.

5. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

En el análisis de rentabilidad de la nueva instalación se ha considerado que la facturación con autoconsumo se inicia en el día óptimo, y que la superficie de paneles instalados es igual a S_{auto} ($K=1$). Teniendo en cuenta que la vida útil de los paneles fotovoltaicos es de 25 años y con objeto de realizar un análisis de rentabilidad lo más real posible, el precio del término de la energía a lo largo de los 25 años de vida aumentará un 2% anual, de acuerdo a las previsiones realizadas por la Unión Española Fotovoltaica, UNEF (UNEF, 2012).

Adicionalmente, se comparará la nueva modalidad de facturación mediante el sistema del autoconsumo con la situación de facturación basada en primas existente en España hasta finales del 2011 (Ministerio de Industria, 2007). El precio fijado para este tipo de instalaciones a finales del 2011 era de 0,34097225 €/kWh (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2011).

5.1. COSTE DE LA INSTALACIÓN

La Figura 6 muestra el desglose en porcentaje del coste de la instalación de los paneles FV. En el precio total de la instalación se incluye, además de los paneles, inversor de CC/CA, estructura de soporte de los paneles, elementos auxiliares como el cableado, y la mano de obra de instalación de los mismos. El coste de instalación asciende a 2,25 €/Wp instalado.

Los valores característicos asociados a la instalación se resumen en la Tabla I. En dicha tabla se indican los valores asociados a la vivienda, como son el consumo anual de energía (E_c) y la irradiancia (I) anual que recibe, junto con valores correspondientes a los paneles FV, como el factor de pérdidas (F_p), el rendimiento de los módulos (η) y el coste del vatio-pico instalado. Empleando la Ecuación (1), se obtiene una superficie S_{auto} de 30,66 m².

Se ha decidido instalar una superficie de paneles FV constituida por 19 módulos de superficie unitaria 1,6269 m² y 230

Wp, lo que implica una superficie real de 30,91 m² (K= 1,008) y una potencia nominal de 4,37 kWp.

Parámetro	Valor
Consumo Anual de Energía (E _c)	5792,70 kWh
Irradiancia Anual (I)	1781,72 kWh/m ²
Factor de Pérdidas (F _p)	0,75
Rendimiento de los Módulos (η)	0,1414
Coste del vatio pico instalado	2,25 €/Wp
Superficie para el autoconsumo (S _{auto})	30,66 m ²
Superficie real (S _{real})	30,91 m ²
Coefficiente de superficie (K)	1,008

Tabla 1: Valores característicos de la instalación

5.2. INDICADORES DE RENTABILIDAD

Para el análisis de rentabilidad, se han empleado indicadores tales como el tiempo de retorno (T_R) y la tasa interna de rentabilidad (TIR). El T_R corresponde al número de años en el que la suma de los ahorros iguala a la inversión inicial realizada, expresada por la ecuación (5).

$$C_{FV} = \sum_{t=1}^{t=T_R} AH_{FV}^t \text{ para } t=1, 2, 3, \dots, T_R \quad (5)$$

donde C_{FV} es el coste de la inversión en euros y AH_{FV}^t es el ahorro obtenido en la facturación eléctrica en el año t con paneles FV.

La expresión que responde al cálculo del ahorro sería la siguiente:

$$AH_{FV}^t = F_{sin,FV}^t - F_{FV}^t \quad (6)$$

donde F_{sin,FV}^t es la factura anual sin instalación FV, y F_{FV}^t es la factura anual con la instalación FV, en el mismo año considerado, t.

Por otra parte, el TIR es la tasa de interés con la que se consigue un Valor Actual Neto (VAN) nulo, es decir, la renta-

bilidad anual de la inversión inicial durante la vida esperada del proyecto, que en el caso que nos ocupa es de 25 años. Se consideran proyectos rentables aquellos que tienen un TIR superior a una tasa de interés esperada. Si el VAN de un proyecto de inversión se calcula mediante la ecuación (7), siendo r la tasa de interés, el TIR se obtiene a partir de la ecuación (8).

$$VAN = \sum_{t=1}^{t=25} \frac{AH_{FV}^t}{(1+r)^t} - C_{FV} \quad (7)$$

$$0 = \sum_{t=1}^{t=25} \frac{AH_{FV}^t}{(1+TIR)^t} - C_{FV} \quad (8)$$

5.3. RESULTADOS

En la Figura 7 se representa la variación del TIR y del T_R de la inversión en función del coeficiente de superficie, para un precio del vatio-pico de 2,25 €/Wp, un precio inicial del término de la energía de 0,150938 €/kWh, correspondiente al precio de la energía del 1 de enero del 2013 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2012), con un incremento anual del 2% y un precio del peaje de 0 €/kWh. Se han representado los valores en el entorno de K=1.008 (19 paneles), con objeto de observar el comportamiento de los parámetros económicos. Se observan dos zonas claramente diferenciadas tanto en la variación del TIR como en el T_R.

En el primer tramo con K<1, la evolución de los parámetros económicos es prácticamente constante, presentando el TIR una suave bajada y el T_R una suave subida. Para justificar este comportamiento, hay que decir que se ha considerado el precio del vatio-pico instalado constante, lo que implica que la inversión inicial es proporcional a K, y dado que la generación de energía es también proporcional a dicho coeficiente, la rentabilidad de la inversión debe mantenerse constante. El pequeño descenso que se produce en el TIR al aumentar el coeficiente de superficie corresponde a un mayor consumo de energía a precio de peaje en detrimento del consumo de energía instantánea a coste cero, debido a que la generación es mayor y hay mayor cantidad de energía almacenada.

El segundo tramo de la Figura 7 corresponde a K>1. Se observa que el TIR disminuye rápidamente, debido a que toda la energía producida por el exceso de paneles se vierte directamente a la red sin compensación económica. El T_R sigue la misma tendencia que el TIR pero en sentido contrario.

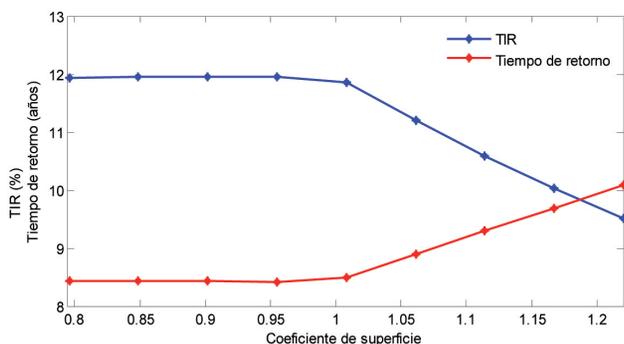


Fig. 7: TIR y T_R en función de K para un precio del peaje de 0 €/kWh

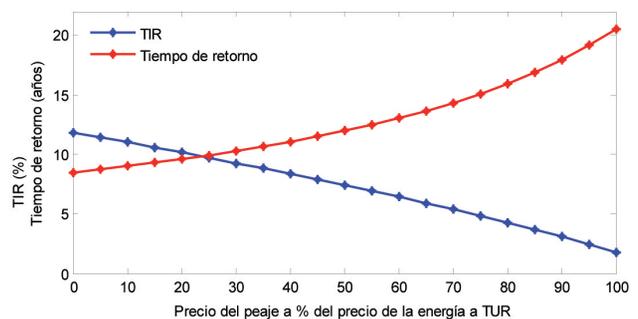


Fig. 8: TIR y tiempo de retorno, en función del precio del peaje en % del precio de la energía a TUR

Con los resultados obtenidos, la superficie S_{auto} ($K=1$) puede considerarse un valor límite a instalar, por encima del cual la rentabilidad de la inversión comienza a descender rápidamente. La instalación de un número de paneles inferior a este valor límite proporciona rentabilidades cercanas al 12% y tiempos de retorno de 8,4 años, lo que hace atractiva la inversión a largo plazo en esta modalidad sin intervención económica de la Administración.

En el sistema de facturación basado en primas, con el precio de la prima fijado a finales del 2011 y los costes de instalación actuales, se obtiene un TIR del 24,3% y un T_R de 4,1 años. Los parámetros económicos en esta modalidad hacen que la inversión sea claramente mucho más rentable debido a las elevadas primas por parte del Estado. El coste total de la subvención en la modalidad de primas durante los 25 años de vida de la instalación alcanzaría los 49.794 €.

El precio del peaje para recuperar la energía es una de las grandes incógnitas de la nueva modalidad de balance neto, pues aún no se conoce su valor y supondrá un factor clave para que la inversión sea o no rentable. Para analizar su impacto, en la Figura 8 se representa el TIR y el T_R para una instalación de 19 placas ($K=1,008$) y para distintos precios del peaje expresados en porcentaje del precio de la energía a TUR. Un valor del 100% supone que el precio del peaje es igual al precio a TUR, lo que implica que el coste de la energía recuperada es igual al precio de mercado y, por lo tanto, el almacenamiento y la propia modalidad de balance neto deja de tener sentido.

Esta reflexión nos obliga a proponer un precio máximo del peaje del 25% (0,0377345 €/kWh) para sufragar los costes de gestión del almacenamiento de la energía. Para este valor se obtiene un T_R de 9,95 años y un TIR del 9,72%, que aún puede considerarse una inversión atractiva a largo plazo. En la figura 8 se observa como el T_R aumenta y el TIR disminuye a medida que aumenta el peaje, hasta alcanzar los valores de 20,53 años y 1,78% respectivamente, para precios del peaje del 100%, valores inadmisibles y situación en la que el concepto de almacenamiento deja de tener sentido.

6. CONCLUSIONES

En este artículo se evalúa la rentabilidad del modelo de balance neto de energía en viviendas con instalaciones FV de pequeña potencia, considerando el proyecto de Real Decreto de 18 de noviembre de 2011. Las conclusiones obtenidas son las siguientes:

- La entrada en vigor de este RD de balance neto supondría el relanzamiento de las energías renovables, sector que actualmente presenta cierta paralización en España.
- La superficie de paneles FV que se debe instalar para conseguir el máximo ahorro, y por tanto, la máxima rentabilidad, debe cubrir como máximo sólo la demanda anual de la instalación, pues la energía excedentaria vertida a la red no recibe compensación económica. Este hecho implica que es especialmente importante obtener la curva de demanda real de la instalación.
- El día de comienzo del servicio de autoconsumo influye tanto en la amortización como en la energía acumulada, siendo el día óptimo del año aquel en el que la generación

comienza a ser superior al consumo, con el objetivo de tener siempre energía acumulada para poder recuperarla. Según la ubicación de la vivienda objeto de estudio debe ser el 19 de marzo.

- Se demuestra que la nueva modalidad de autoconsumo resultaría rentable a largo plazo para incrementos del precio de la energía del 2% anual propuesto por la UNEF y precios del peaje del 25% de la tarifa TUR, obteniéndose un TIR del 9,72% y un tiempo de retorno de 9,95 años, sin ningún coste para el Estado.
- El problema de la nueva regulación puede encontrarse en la gestión de la energía almacenada en la red, que tendría que adaptarse a la nueva situación.
- Los resultados del presente trabajo se han obtenido considerando un precio del vatio pico instalado de 2,25 €/Wp. Actualmente existe una tendencia claramente a la baja de este precio, por lo que es de esperar que en los próximos años se puedan conseguir valores del T_R y del TIR mucho más atractivos, convirtiéndose el autoconsumo en una apuesta sin riesgo para los consumidores de pequeña potencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Andaluza de la Energía. *Radiación solar* [en línea]. Disponible en web: <<http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/radiacion1.php>>. [Consulta: Julio 2012].
- Botero-B S y Morales-R CA. "Análisis del instrumento regulatorio "Medición Neta" (NET METERING) y su potencial. Aplicación al caso colombiano". *Energética*. Diciembre 2008. Vol. 40 p.53-65.
- Jefatura del Estado. Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero, *BOE*, 28 de enero de 2012, núm. 24, p. 8068.
- Jefatura del Estado. Real Decreto-ley 20/2012, de 13 de julio. *BOE*, 14 de julio de 2012, núm. 168, p.50428.
- Jefatura del Estado. Real Decreto-ley 8/2010, de 20 de mayo. *BOE*, 24 de mayo de 2010, núm. 126, p. 45070
- Jefatura del Estado. Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto. *BOE*, 18 de septiembre de 2002, núm. 224, p. 33084.
- Ministerio de Industria, energía y Turismo. Orden IET/3586/2011, de 30 de diciembre. *BOE*, 31 de diciembre 2011, núm. 315, p. 146683.
- Ministerio de Industria Turismo y Comercio. Proyecto de Real Decreto por el que se establece la regulación de las condiciones administrativas, técnicas y económicas de la modalidad de suministro de energía eléctrica con balance neto. 2011.
- Ministerio de Industria Turismo y Comercio. Proyecto de Real Decreto por el que se establece la regulación de las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. 2013.
- Ministerio de Industria Turismo y Comercio. Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre. *BOE*, 8 de diciembre de 2011, núm. 295, p. 130033.
- Ministerio de Industria Turismo y Comercio. Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo. *BOE*, 26 de mayo de 2007, núm. 126, p. 22846.
- Ministerio de Industria Energía y Turismo. Resolución de 28 de junio 2012. *BOE*, 29 de junio de 2012, núm. 155, p. 46143.
- Red Eléctrica de España. *Demanda de energía en tiempo real* [en línea]. Disponible en: <<https://demanda.ree.es/demanda.html>>. [Acceso: Julio 2012]
- UNEF. Unión Española Fotovoltaica Balance Neto. *Requisitos para un autoconsumo viable en España* [en línea]. Disponible: <<http://www.jhroorden.com/solar/descargas/Rev%208%20a%20201202%20Balance%20Neto%20FINAL.pdf>>. [Acceso: Julio 2012.]